

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2008.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Domagoj Magaš

Zagreb, 2008.

# ZAHVALA

Ovom se prilikom želim zahvaliti:

- mentoru Prof. dr. sc. Mladenu Šerceru na savjetima i pomoći u tijeku izrade rada
- asistentici mr. sc. Maji Rujnić Sokele na savjetima prilikom izrade plana pokusa i pomoći pri grafičkom uređenju rada
- dr. sc. Damiru Godecu i Miodragu Kataleniću, na stručnoj pomoći i uloženom trudu
- dip. Ing. Ani Pilipović na pruženoj pomoći u vidu literature i savjeta
- na kraju posebna zahvala mojim roditeljima na financijskoj i moralnoj podršci tijekom studiranja, te braći na moralnoj podršci tijekom studiranja.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija na fakultetu te stručnu literaturu i raspoloživu opremu.

Domagoj Magaš

## **SAŽETAK**

U radu je prikazan utjecaj vremena djelovanja naknadnog tlaka i same vrijednosti djelovanja naknadnog tlaka na masu otpreska. Za izradu otpreska koristio se plastomerni materijal polistiren i ubrizgavalica proizvođača ENGEL, Victory 330/80 Power.

Prilikom izvođenja i analize pokusa upotrebljen je centralno kompozitni plan pokusa koji omogućava uključivanje dvaju ili više faktora čiji se utjecaji mogu istovremeno analizirati.

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	7
2. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA .....	8
2.1. Općenito o postupku .....	8
2.2. Injekcijsko prešanje plastomera .....	9
2.2.1. Prednosti i nedostaci injekcijskog prešanja plastomera .....	11
2.2.2. Pužna ubrizgavalica .....	13
2.2.2.1. Hidrauličke ubrizgavalice .....	15
2.2.2.2. Hibridne ubrizgavalice .....	16
2.2.2.3. Električke ubrizgavalice .....	17
2.2.2.4. Postupak rada pužne ubrizgavalice .....	18
2.2.3. Kalup .....	21
2.2.3.1. Kućište kalupa .....	22
2.2.3.2. Kalupna šupljina .....	23
2.2.3.3. Uljevni sustav .....	25
2.2.3.4. Sustav za vađenje otpreska .....	26
2.2.3.5. Sustav za temperiranje kalupa .....	27
2.2.3.6. Sustav za odzračivanje kalupne šupljine .....	28
2.2.3.7. Sustav za vođenje i centriranje elemenata kalupa .....	28
2.2.4. Sustav za temperiranje kalupa .....	29
2.3. Naknadni tlak .....	31
2.4. Vrijeme djelovanja naknadnog tlaka .....	33
2.5. Tijek tlaka ubrizgavanja i tlaka u kalupnoj šupljini .....	33
2.6. Polistiren .....	36
3. EKSPERIMENTALNI RAD .....	40
3.1. Cilj istraživanja .....	40
3.2. Sustav za injekcijsko prešanje .....	40
3.2.1. Ubrizgavalica .....	40
3.2.2. Otpresak .....	42
3.3. Planiranje pokusa .....	43
3.3.1. Centralno kompozitni pokus .....	44
3.3.2. Pretpokus .....	48
3.3.3. Pokus .....	50
4. ZAKLJUČAK .....	54
LITERATURA .....	55

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Udio injekcijskog prešanja u postupcima prerade polimera [3] .....	9
Slika 2.2. Vremenski tijek injekcijskog prešanja [1].....	10
Slika 2.3. Modelni prikaz sustava za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina [4] .....	12
Slika 2.4. Pužna ubrizgavalica [6].....	13
Slika 2.5. Hidraulična ubrizgavalica [2] .....	16
Slika 2.6. Presjek hibridne ubrizgavalice za injekcijsko prešanje [2].....	17
Slika 2.7. Načelna izvedba potpuno električne ubrizgavalice [2] .....	18
Slika 2.8. Faza plastificiranja injekcijskog prešanja [7] .....	19
Slika 2.9. Faza ubrizgavanja i djelovanja naknadnog tlaka [7].....	19
Slika 2.10. Faza hlađenja i vađenja otpreska iz kalupa [7] .....	20
Slika 2.11. Dijelovi čvrstog uljevnog sustava [1] .....	25
Slika 2.12. Temperaturno polje u kalupu [1] .....	31
Slika 2.13. Korelacija između naknadnog tlaka u hidrauličkom sustavu ubrizgavalice i u kalupnoj šupljini [7] .....	32
Slika 2.14. Određivanje optimalnog vremena djelovanja naknadnog tlaka [7].....	33
Slika 2.15. Dijagram $p-v-T$ za polistiren [4] .....	34
Slika 2.16. Polistiren .....	36
Slika 2.17. Primjer proizvoda od polistirena [13,14].....	37
Slika 3.1. Ubrizgavalica ENGEL, Victory 330/80 .....	40
Slika 3.2. Izgled dobivenog otpreska .....	42
Slika 3.3. Specijalni oblik ispitnog tijela [16].....	42
Slika 3.4. Model centralno kompozitnog pokusa za tri faktora [17].....	45
Slika 3.5. Model potpunog faktorskog plana pokusa $3^k$ [17] .....	45
Slika 3.6. Ovisnost mase otpresaka o vremenu trajanja naknadnog tlaka i naknadnom tlaku.....	52
Slika 3.7. Rasipanje točaka oko pravca regresije (varijabla je masa) .....	53

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Osnovna svojstva polistirena [12].....	39
Tablica 3.1 Tehnički podaci ubrizgavalice ENGEL, Victory 330/80 Power [15] .....	41
Tablica 3.2 Dimenzije rastezних specijalnih ispitnih tijela [16].....	43
Tablica 3.3 Vrijednosti odne udaljenosti $\alpha$ .....	46
Tablica 3.4. Mase ispitaka pretpokusa pri naknadnom tlaku od 580 bara .....	49
Tablica 3.5 Faktori i njihove razine .....	50
Tablica 3.6 Mase otpresaka i njihove aritmetičke sredine .....	51
Tablica 3.7 Rezultati analize varijance - masa otpreska.....	51



## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

$\alpha$	osna udaljenost
$\vartheta_D$	dodirna temperatura, °C
$\vartheta_K$	temperatura stijenke kalupne šupljine, °C
$\vartheta_{OK}$	temperatura u trenutku otvaranja kalupa, °C
$a_{ef}$	efektivna toplinska difuznost, m <sup>2</sup> /s
$b_o$	debljina ušća, mm
$F$	varijabla
$h_o$	širina ušća
$k$	broj faktora
$K_U$	koeficijent unutrašnjosti
$K_O$	koeficijent oblika
$m_g$	masa grozda
$n_c$	broj stanja u centru
$p_{Hu}$	tlak ubrizgavanja, bar
$p_{Hs}$	tlak stlačivanja, bar
$p_{Hn}$	naknadni tlak, bar
$p_K$	tlak u kalupnoj šupljini
$T_K$	temperatura kalupne šupljine, K
$T_{PO}$	temperatura postojanosti oblika, K
$T_T$	temperatura taljevine, K
$t_c$	vrijeme ciklusa, s
$t_h$	vrijeme hlađenja otpreska, s
$t_{np}$	vrijeme naknadnog tlaka, s
$x_1$	naknadni tlak $p_{np}$ , bar
$x_2$	vrijeme trajanja naknadnog tlaka $t_{np}$ , s

$\bar{x}$	aritmetička sredina uzorka
$*H_0$	nulta hipoteza

# 1. UVOD

Polimeri su tipični materijali današnjice i još više sutrašnjice koji zadovoljavaju pojedinačne i društvene potrebe u nizu područja. Posljednjih dvadeset godina proizvodnja sintetskih polimera po volumenu je veća od proizvodnje čelika. Polimerni materijali zamjenjuju klasične materijale u mnogim primjenama, ali njihova posebna svojstva istodobno generiraju i nove, dosad nepoznate primjene. Prema ponašanju pri povišenim temperaturama polimerni materijali se razvrstavaju u nekoliko skupina. Najbitniji su plastomeri, duromeri, elastomeri te elastoplastomeri.

Plastomeri su najzastupljenija skupina sintetskih polimera. Volumni udio ovih polimera u ukupnoj svjetskoj proizvodnji veći je od 80 %. Prema nekim predviđanjima, a dobrim dijelom zbog potreba zaštite okoliša, u žarištu interesa u budućnosti bit će jednostavni i jeftiniji plastomeri. U prednosti će biti monomaterijali pred sofisticiranim plastomernim mješavinama.

Pri proizvodnji plastomernih tvorevina, injekcijsko prešanje je najzastupljeniji postupak prema ostalim cikličkim proizvodnim postupcima. Za uspješno injekcijsko prešanje potreban je sustav kojega čine: ubrizgavalica, kalup i uređaj za temperiranje. Do danas je razvijeno više od 240 inačica tog preradbenog postupka ali se injekcijsko prešanje plastomernih taljevina i dalje smatra glavnim postupkom. [1]

## 2. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA

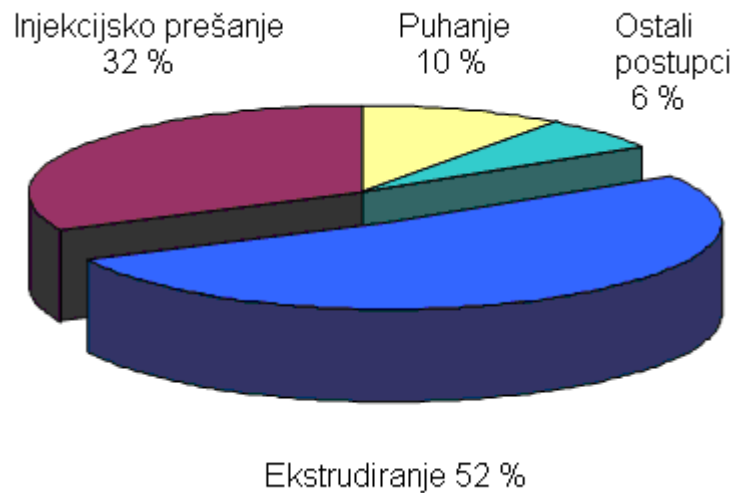
### 2.1. Općenito o postupku

Injekcijsko prešanje polimera je najvažniji ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu.

Injekcijskim prešanjem se prerađuju razni materijali i smjese (npr. keramičke smjese, kombinacije različitih materijala). Injekcijsko prešanje je jedan od najraširenijih postupaka prerade polimera odmah poslije ekstrudiranja (slika 2.1).

Još u 19. stoljeću susreću se rješenja strojeva koji omogućuju injekcijsko prešanje prirodnih modificiranih plastomera (npr. nitroceluloze). Francuz R. Quiellery patentirao je 1938. ubrizgavalicu s pužnim vijkom za preradbu kaučukovih smjesa, a godine 1943. Nijemac H. Beck za preradbu plastomjernih taljevina. Do bitne promjene u koncepciji gradnje ubrizgavalica dolazi 1956., kada njemačka tvrtka *Ankerwerk* (danas *Demag*) uspijeva prouzvesti prvu komercijalnu ubrizgavalicu s jednim pužnim vijkom.

Glavna prednost injekcijskog prešanja je visok stupanj automatiziranosti (moguća je neprekidna proizvodnja), najsuvremenije vođenje procesa, temeljeno na procesorima i primjeni računala, velika ponovljivost proizvodnje. [1,2]



Slika 2.1. Udio injekcijskog prešanja u postupcima prerade polimera [3]

## 2.2. Injekcijsko prešanje plastomera

Najrašireniji postupak injekcijskog prešanja polimera je injekcijsko prešanje plastomernih tvorevina.

Po strukturi se plastomeri dijele na :

- amorfne
- kristalaste
- kristalne.

U proizvodnji su najviše zastupljeni kristalasti plastomeri polietileni (PE) i polipropileni (PP), te amorfni poli(vinil-klorid) (PVC) i polistiren (PS). [4]

Za ostvarenje injekcijskog prešanja plastomera potreban je sustav za injekcijsko prešanje plastomera koji se sastoji od nužne i dopunske opreme.

Svaki sustav za injekcijsko prešanje plastomera mora ispuniti sljedeće uvjete: priprema tvari potrebne smične viskoznosti, ubrizgavanje i stvaranje praoblaka i strukture tvorevine pri propisanoj temperaturi elemenata kalupne šupljine. [1]

Ciklus injekcijskog prešanja otpresaka od plastomernih taljevina prikazan je na slici 2.2.



Slika 2.2. Vremenski tijek injekcijskog prešanja [1]

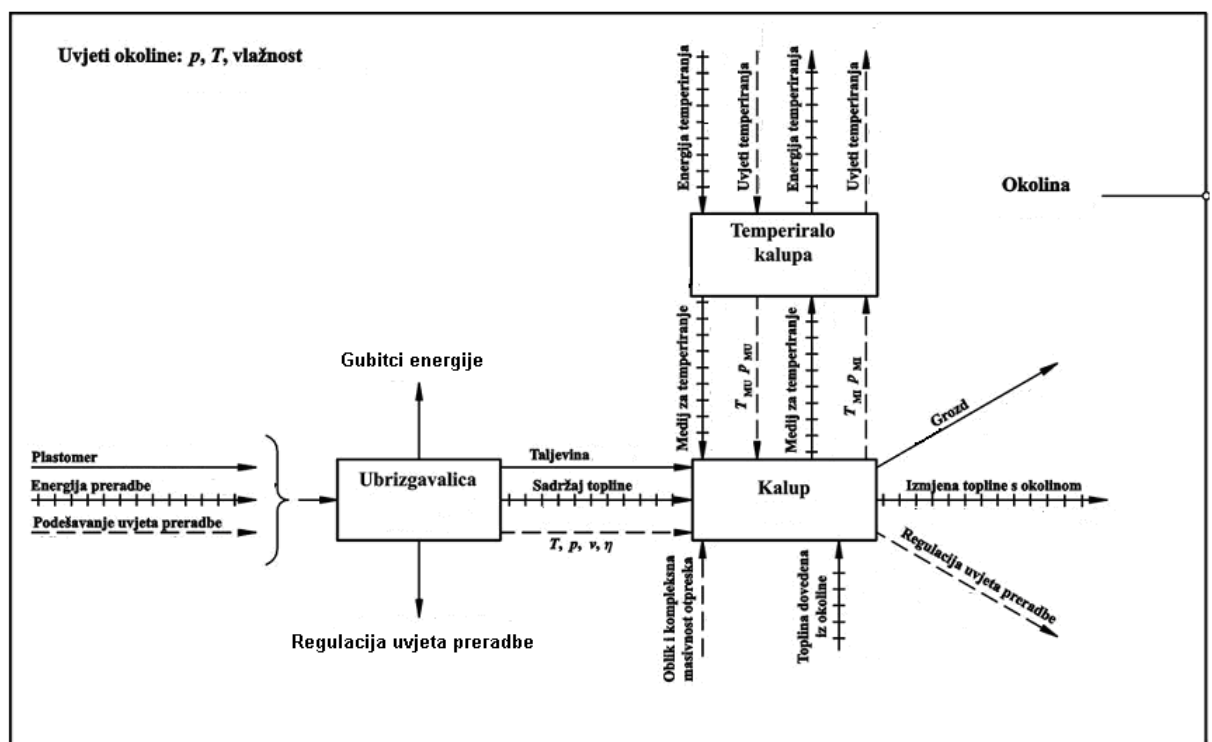
### **2.2.1. Prednosti i nedostaci injekcijskog prešanja plastomera**

Prednosti injekcijskog prešanja su:

- visoka produktivnost izrade otpresaka
- mogućnost izrade otpresaka velikog obujma
- relativno niski troškovi izrade po otpresku
- automatizirani postupak
- otpresak nije potrebno naknadno obrađivati
- mogućnost izrade otpresaka različitih površina, boja i završne obrade
- moguća kvalitetna dekoracija
- za mnoge oblike je ovaj postupak najpogodniji s gospodarskog stajališta
- minimalni su gubici zbog loših proizvoda, što je rezultat mogućnosti regeneriranja plastomernog uljevnog sustava i nekvalitetnih otpresaka
- mogućnost održavanja uskih dimenzijskih tolerancija izrade
- otpresci se mogu izrađivati s metalnim i nemetalnim umetcima
- mogućnost izrade ojačanih otpresaka (kombinacijom plastomernog materijala i ojačavala) [5].

Nedostatci injekcijskog prešanja:

- visoki troškovi sustava za injekcijsko prešanje i dopunske opreme
- vođenje procesa može biti problematično zbog stalnih promjena u tijeku procesa
- kvaliteta otpreska često se ne može odmah postići, potrebno je nekoliko ciklusa
- u kalupnoj šupljini dolazi do stalnih promjena veličina bitnih za kvalitetu otpreska kao što su temperatura, tlak, dinamička viskoznost [5].



Slika 2.3. Modelni prikaz sustava za injekcijsko prešanje plastomernih taljevina [4]

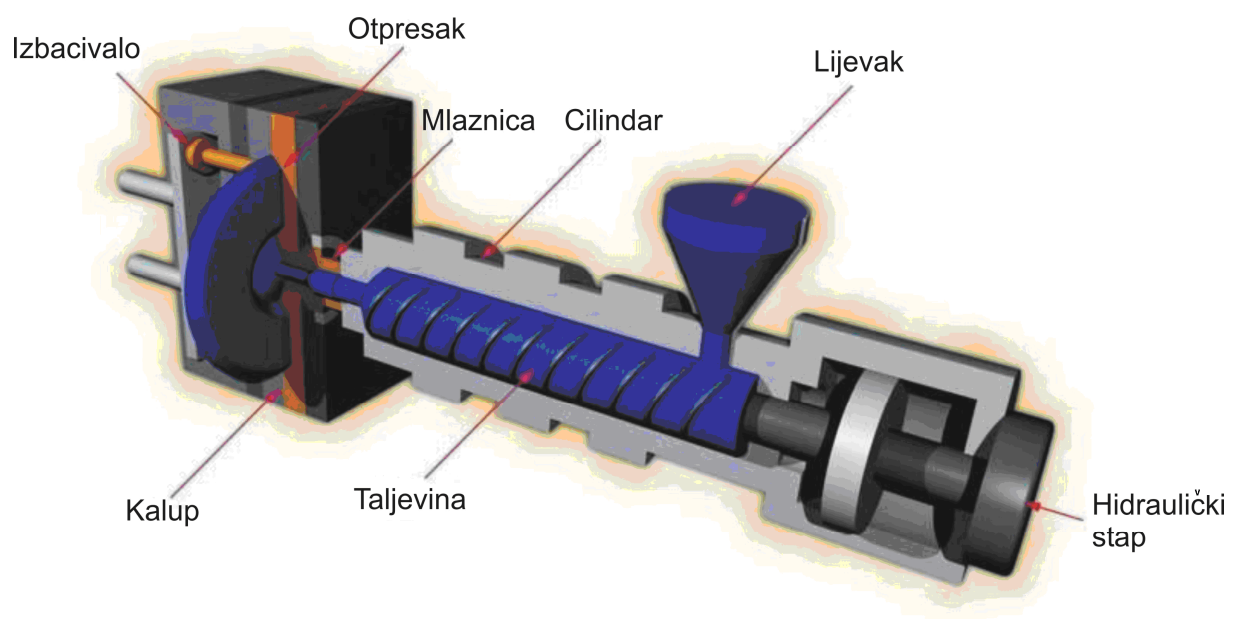


Za izradu plastomernih otpresaka injekcijskim prešanjem odabran je sustav (slika 2.3) koji čine:

- pužna ubrizgavalica
- kalup
- sustav za temperiranje kalupa [4].

### 2.2.2. Pužna ubrizgavalica

Na slici 2.4. dan je grafički prikaz tipične ubrizgavalice s naznačenim glavnim dijelovima.



Slika 2.4. Pužna ubrizgavalica [6]

Pužna ubrizgavalica (slika 2.4) je element sustava za injekcijsko prešanje koji mora ostvariti ove funkcije:

- priprema taljevine za ubrizgavanje
- ubrizgavanje taljevine u kalup
- otvaranje i zatvaranje kalupa
- vađenje otpreska. [2]

Svaka ubrizgavalica se sastoji od četiri jedinice. To su:

- jedinica za pripremu taljevine i ubrizgavanje
- jedinica za zatvaranje kalupa
- pogonska jedinica
- jedinica za vođenje procesa. [2]

Nekad je osnovno načelo ubrizgavanja bilo ubrizgavanje klipom, dok se danas ubrizgavanje vrši pužnim vijkom.

Ubrizgavalice imaju samo jedan pužni vijak, duljine 12-20 promjera pužnog vijka. Promjer pužnog vijka može biti 10-200 mm. Taljevina se ubrizgava u kalup brzinom do 1,5 m/s i pri visokom tlaku do 200 N/mm<sup>2</sup>. Temperature taljevine su od 150 do 425 °C, a kalupne šupljine od -5 do 260 °C. [2]

Razvoj tržišta ubrizgavalica sličan je razvoju tržišta polimernih materijala. Zbog toga se stare konstrukcije ubrizgavalica pokušavaju modernizirati uvođenjem novih vrsta pogona i sustava vođenja. Uočen je tehnički napredak ubrizgavalica posljednjih godina: potrebna je manja površina za smještaj ubrizgavalice, niža je razina buke i manja potrošnja energije, upravljačke jedinice smještaju se na ubrizgavalice i u blizini poslužitelja. [2]

Važno je pitanje suvremenih ubrizgavalica vrsta njihova pogona.

Pogoni ubrizgavalica mogu biti:

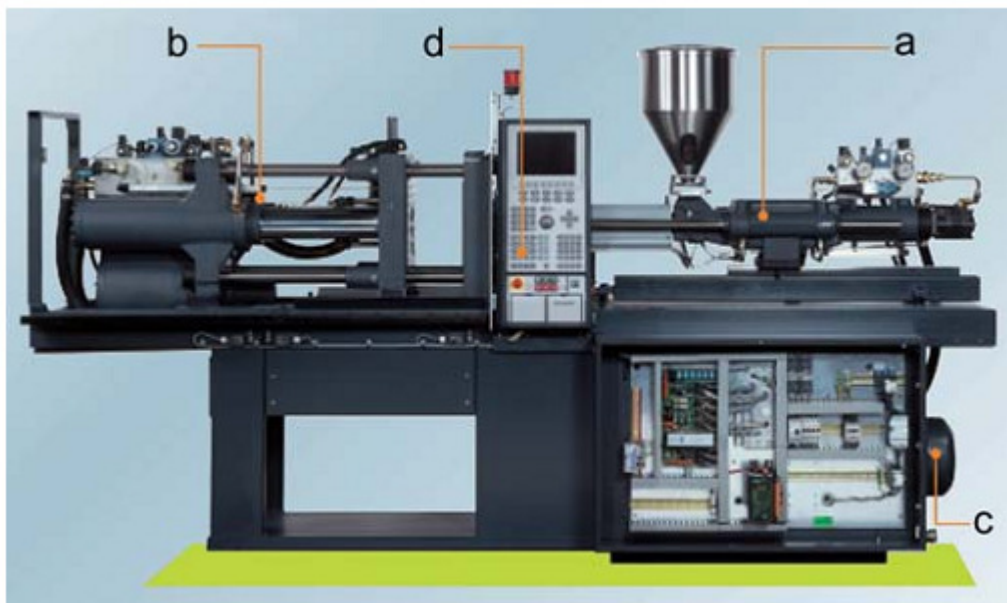
- hidraulički
- hibridni
- električki [2].

#### **2.2.2.1. Hidrauličke ubrizgavalice**

Na kvalitetu otpreska utječu tri važna čimbenika: kvaliteta taljevine, brzina tečenja čela taljevine i gustoća taljevine. Kvaliteta taljevina ovisna je o konstrukciji jedinice za pripremu i ubrizgavanju taljevine. Brzina tečenja čela taljevine ovisi o kvaliteti taljevine, temperaturi stijenke kalupne šupljine i brzini pužnog vijka. Ujednačena gustoća otpreska postiže se nadzorom visine i vremenom trajanja tlaka tijekom razdoblja djelovanja naknadnog tlaka. [2]

Nove hidrauličke ubrizgavalice sa servo pumpama s promjenjivim volumenom, nude velike mogućnosti uštede energije. Hidraulički pogonjene ubrizgavalice (slika 2.5) omogućuju najbolju kontrolu tlaka u kalupnoj šupljini tijekom razdoblja djelovanja naknadnog tlaka. [2]

Hidrauličke ubrizgavalice su pogodnije za rad sa velikim kalupima, otprescima kompleksne geometrije, posebice za višekomponentno ili višebojno injekcijsko prešanje.[2]

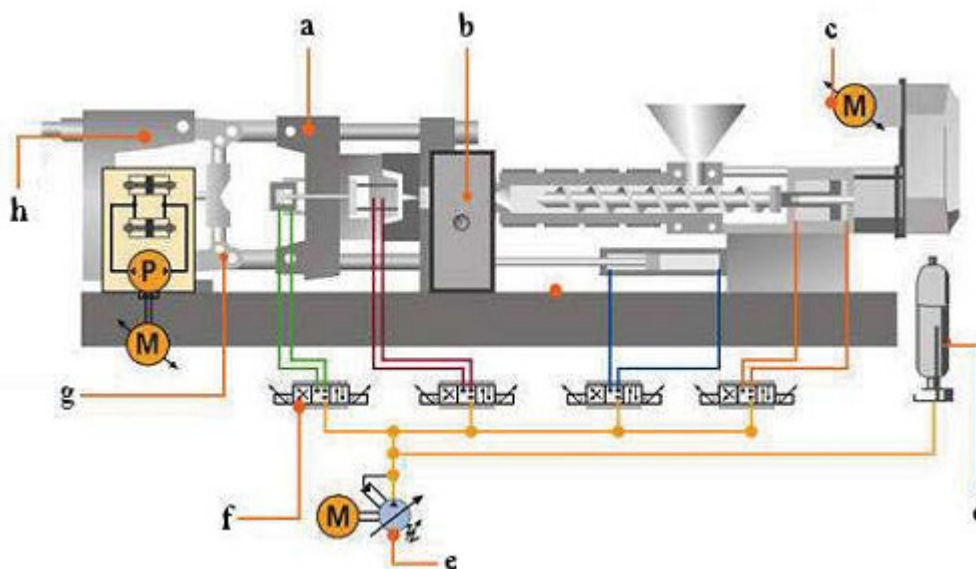


Slika 2.5. Hidraulična ubrizgavalica: a - jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine, b - jedinica za zatvaranje kalupa, c - pogonska jedinica, d - jedinica za vođenje i reguliranje [2]

#### 2.2.2.2. Hibridne ubrizgavalice

Hibridne ubrizgavalice (slika 2.5) uobičajeno sjedinjuju raznovrsnost i snagu hidrauličkih s preciznošću i ponovljivošću rada potpuno električno upravljanih i pogonjenih ubrizgavalica.

Hibridni pogon ubrizgavalica najčešće se postiže dodavanjem električnog pogona za pužni vijak na klasičnu hidrauličku ubrizgavalicu. Takav pogon radi dobro i za opće namjene kada se traže dulji ciklusi izradbe te se postižu veće uštede energije. Kombinacija električnog pogona pužnog vijka s elektromehaničkim polugama za zatvaranje kalupa troši do 50 % manje energije u odnosu na hidrauličke izvedbe. Hibridne ubrizgavalice skuplje su od hidrauličkih ubrizgavalica za 5 – 10 %, ali su jeftinije od potpuno pogonjenih električnih ubrizgavalica za 10 – 15 % [2]. Na slici 2.6. prikazana je hibridna ubrizgavalica.



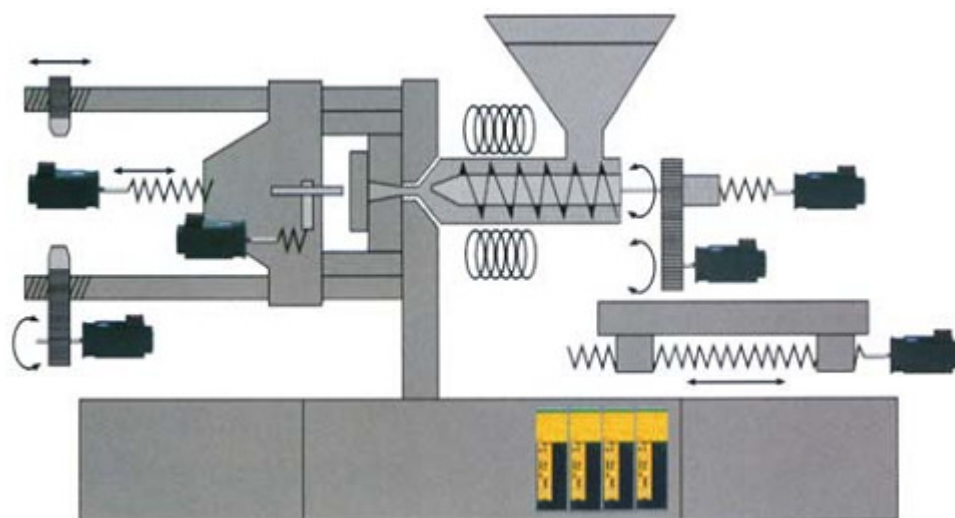
Slika 2.6. Presjek hibridne ubrizgavalice za injekcijsko prešanje; a – nosači kalupa, b – upravljačka jedinica, c – električni pogon pužnog vijka, d- hidraulički akumulator, e – hidraulična pumpa, f – sustav za uštedu energije, g – osjetilo za zaštitu kalupa, h – jedinica za zatvaranje kalupa. [2]

### 2.2.2.3. Električne ubrizgavalice

U budućnosti se očekuje da će kod ubrizgavalica sa silama zatvaranja kalupa manjim od 5000 N prevladati potpuno električne ubrizgavalice (slika 2.6). Područje primjene potpuno električkih ubrizgavalica je za otpreske s traženom visokom točnošću mjera i preciznosti izradbe, koji zahtjevaju posebne profile ubrizgavanja, kalupi s posebnim načinima zatvaranja i otpresci koji troše puno energije uslijed dugih putova doziranja i potrebnih visokih brzina ubrizgavanja. [2]

Ključne su prednosti električkih u odnosu na hidrauličke ubrizgavalice: mogućnost dugotrajnog održavanja stabilnosti procesa injekcijskog prešanja, visoka točnost i preciznost gibanja, niski utrošak energije i medija za temperiranje, kraće vrijeme ciklusa, niža razina buke i prikladnost proizvodnje čistih otpresaka.

Više cijene, najmanje do 20 % te viši troškovi pri preradbi polimera električnim ubrizgavalicama u odnosu na hidraulične i hibridne izvedbe, daljni su njihov nedostatak [2].

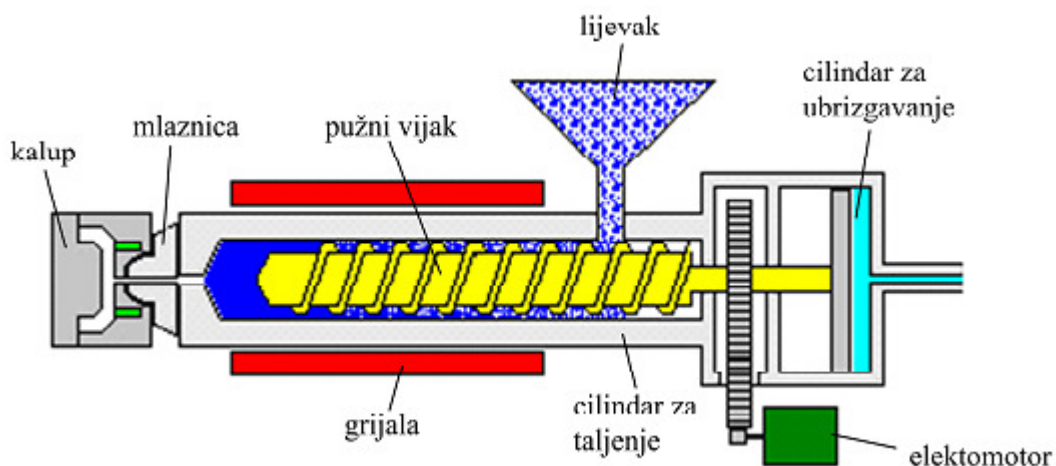


Slika 2.7. Načelna izvedba potpuno električne ubrizgavalice [2]

#### 2.2.2.4. Postupak rada pužne ubrizgavalice

Postupak rada ubrizgavalice dijeli se na tri faze:

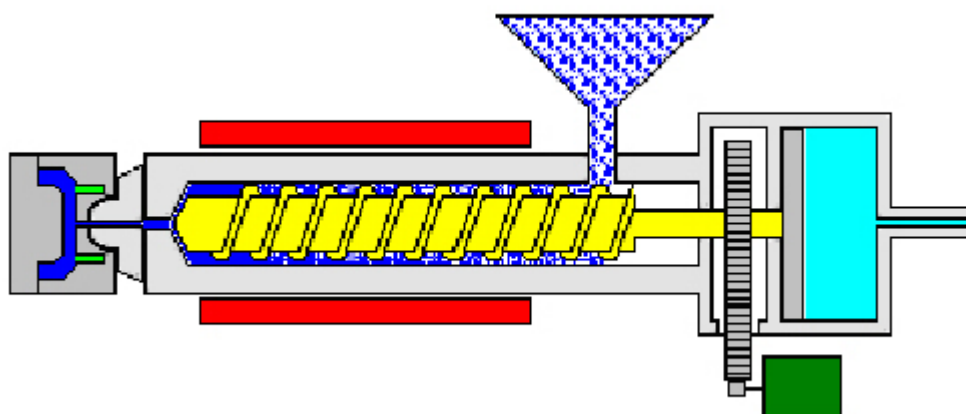
- plastificiranje
- ubrizgavanje i djelovanje naknadnog tlaka
- hlađenje i vađenje otpreska iz kalupa. [7]



Slika 2.8. Faza plastificiranja injekcijskog prešanja [7]

Plastomerne se granule dobavljaju kroz lijevak u cilindar gdje ih zahvaća pužni vijak. Toplina dovedena grijalima i razvijena vrtnjom pužnog vijka pri čemu se mehanički rad trenja pretvara u toplinu dovodi do taljenja plastomera.

Tijekom pripreme plastomera taljevina se sakuplja ispred vrha pužnog vijka (sabirnica) koji biva potisnut unatrag (slika 2.8).



Slika 2.9. Faza ubrizgavanja i djelovanja naknadnog tlaka [7]

U trenutku očvršćivanja ušća otpresak poprima svoj konačni oblik u kalupu, no temperatura otpreska je još uvijek previsoka da bi se otpresak mogao sigurno izvaditi iz kalupne šupljine. Stoga je otpresku potrebno osigurati nužno vrijeme hlađenja do postizanja temperature postojanosti oblika. Ta faza ciklusa injekcijskog prešanja naziva se fazom hlađenja otpreska, a ujedno uključuje i fazu plastificiranja, tijekom koje se u cilindru za taljenje priprema nova količina plastomerne taljevine za idući ciklus. Nakon što otpresak dovoljno očvrstne slijedi faza vađenja otpreska iz kalupa (slika 2.10). [7]



### 2.2.3. Kalup

Kalup nije samo proizvod komplicirane i kompleksne strukture i uobičajene namjene. To je skup komponenata koje tek treba povezati i sklopiti u funkcijske sklopove koji se sastavljaju, kombiniraju i prilagođuju. Pojam *kompliciran* odnosi se na postojanje većeg broja elemenata sustava (ovdje kalupa), a *kompleksan* na veći broj odnosa među tim elementima. Oblikovanje strukture kalupa postiže se oblikovanjem elemenata od kojih se kalup sastoji. Pri tom je težnja da se uz što manju strukturu ostvari što veća funkcijska kompleksnost, što znači da se uz upotrebu što manjeg broja jednostavnih elemenata koji čine strukturu kalupa ostvari što više funkcija kalupa. Uz strukturnu kompleksnost najuže su povezani pojmovi normizacije, unifikacije, tipizacije, univerzalnosti i prilagodljivosti, a u posljednje vrijeme i fleksibilnosti kalupa. [8]

Zadaci kalupa:

- prihvaćanje taljevine
- razdjeljivanje taljevine
- praoblikovanje taljevine
- održavanje toplinski ravnotežnog stanja pri propisanoj referentnoj temperaturi kalupa
- očvršćivanje taljevine do poželjne strukture
- izbacivanje izratka iz kalupne šupljine
- osiguranje cikličkog rada sustava za injekcijsko prešanje [8].

Pored ostvarenja gore navedenih temeljnih zadataka kalup, prema [8], mora:

- prihvatiti sile
- prenijeti gibanja
- voditi dijelove kalupa.

Kalup koji je u hijerarhiji injekcijskog prešanja podsustav, i sam je vrlo kompliciran i kompleksan sustav. Podsustavi koji čine kalup sposobnim za ispunjavanje osnovne funkcije i parcijalnih funkcija jesu [9]:

- kućište kalupa
- kalupna šupljina
- uljevni sustav
- sustav za vađenje otpreska
- sustav za temperiranje kalupa
- sustav za odzračivanje kalupne šupljine
- sustav za vođenje i centriranje elemenata kalupa.

#### **2.2.3.1. Kućište kalupa**

Kućićšte kalupa sastoji se od sloga ploča koje zajedno čine noseću konstrukciju kalupa. U njemu su ugrađeni žigovi, matrice i ostali dijelovi sklopova neophodnom za dobro i ispravno funkcioniranje kalupa. Kućićšte mora osigurati jednostavno pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu, te prihvatiti sile koje djeluju na kalup. [10]

Na oblik i konstrukcijsku izvedbu kućićšta najveći utjecaj imaju oblik i izmjere otpreska, njihova predviđena količina proizvodnje, te predviđeni stupanj automatiziranosti rada kalupa. Pri izboru materijala kućićšta kalupa potrebno je izabrati najkvalitetnije raspoložive materijale koji će udovoljiti postavljenim zahtjevima (mogućnost obrade, toplinska, mehanička i kemijska postojanost i sl.) [6].

Kalup se dijeli na pomični i nepomični dio. Nepomični dio kalupa nalazi se na strani jedinice za ubrizgavanje taljevine u kalup, dok se pomični dio kalupa nalazi na strani jedinice za otvaranje i zatvaranje kalupa. Linija (površina) koja dijeli te dvije polovice kalupa naziva se sljubnicom. Uglavnom se izrađuju kalupi s jednom

sljubnicom, no nisu rijetki kalupi s više sljubnica. Tada se govori o glavnoj i pomoćnim sljubnicama. [6]

Na temelju analize i pregleda postojećih standardnih kućišta kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, moguće je načiniti grubu sistematizaciju kućišta kalupa: [10]

- pravokutna kućišta
- okrugla kućišta
- kućišta s postranim otvaranjem kalupnih ploča
- kućišta sa školjkastim kalupnim pločama
- posebna kućišta.

#### **2.2.3.2. Kalupna šupljina**

Kalupna šupljina definirana je kao prostor kojeg zatvaraju pomični i nepomični dijelovi kalupa. Oblik kalupne šupljine je identičan obliku otpreska, a izmjere su joj uvećane za iznos stezanja plastomernog materijala kojeg se prerađuje. Kalupna šupljina je u stvari "negativ" otpreska uvećan za postotak stezanja plastomernog materijala. Na temelju broja kalupnih šupljina kalupe je moguće podijeliti na kalupe s jednom kalupnom šupljinom i kalupe s više kalupnih šupljina. Pri tome, kalupi s više kalupnih šupljina mogu biti namijenjeni izradi jedne vrste otpresaka ili izradi više vrsta otpresaka istovremeno (kalup s različitim oblicima kalupnih šupljina). [6]

Funkcija kalupne šupljine je:

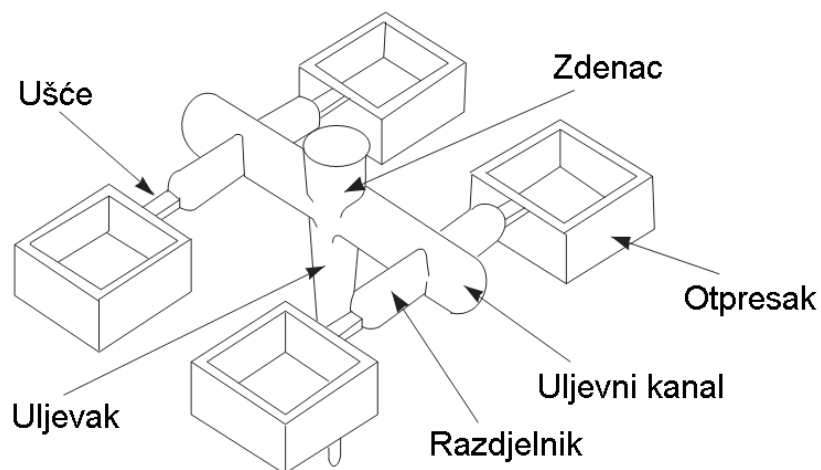
- razdioba plastomerne taljevine
- definiranje izmjera otpreska
- prijenos tlaka taljevine u kalupnu šupljinu
- definiranje kvalitete površine otpreska. [6]

Nakon određivanja broja kalupnih šupljina, potrebno je definirati njihov pravilan raspored. Pri definiranju rasporeda kalupnih šupljina treba težiti što kraćem i ujednačenom putu od uljevka do svake kalupne šupljine. Različiti putovi tečenja do pojedine kalupne šupljine dovode do različitog stezanja plastomerne taljevine, nejednakih izmjera i različitih uporabnih svojstava otpresaka. U kalupima gdje se ne može postići ujednačeni put tečenja do svih kalupnih šupljina, moguće je taj nedostatak umanjiti uravnoteženjem uljevnog sustava.[6]

Temeljni uvjeti kojih se treba pridržavati pri definiranju rasporeda kalupnih šupljina su:

- ostvarenje najpovoljnijeg rasporeda kalupnih šupljina radi postizanja minimalnih izmjera kalupa
- osiguranje minimalnog puta tečenja taljevine od mjesta dodira mlaznice ubrizgavalice s kalupom do kalupne šupljine
- osiguranje pravilnog rasporeda kalupnih šupljina radi simetričnosti zatvaranja kalupa [6].

Teži se za takvim rasporedom kalupnih šupljina kojim će se najbolje iskoristiti korisni obujam kalupa, s time da putovi tečenja do svih kalupnih šupljina budu ujednačeni i što kraći, kako bi se osigurao što manji otpad materijala zbog uljevnog sustava (u slučaju čvrstog uljevnog sustava). Iz zahtjeva na kvalitetu otpresaka, izravno proizlaze zahtjevi na kvalitetu kalupne šupljine [9].



Slika 2.11. Dijelovi čvrstog uljevnog sustava [1]

### 2.2.3.3. Uljevni sustav

Elementi kalupa koji ispunjavaju parcijalnu funkciju razdjeljivanja plastomeme taljevine na određeni broj kalupnih šupljina u literaturi se nazivaju skupnim imenom - uljevni sustav kalupa. Obzirom na vrstu, uljevni sustav se može sastojati iz nekoliko različitih dijelova, no gotovo svi uljevni sustavi završavaju ušćem prema kalupnoj šupljini. Ušće dakle predstavlja povezujući element kalupa između uljevnog sustava i kalupne šupljine. Utjecaj broja, položaja, oblika (vrste) i izmjera ušća na parametre prerade (injekcijskog prešanja), konstrukciju kalupa i uporabna svojstva otpreska vrlo je velik, pa stoga valja konstrukciji ušća u kalupima posvetiti posebnu pozornost. [6]

Pri kalupima za injekcijsko prešanje razlikuju se tri temeljne vrste uljevnih sustava: čvrsti (hladni) uljevni sustav i kapljeviti (vrući) uljevni sustav, te njihova kombinacija. Dodatno, pri čvrstom uljevnom sustavu moguće je načiniti daljnju podjelu prema vrsti ušća, dok se vrući uljevni sustavi razlikuju prema načinu zagrijavanja pojedinih elemenata sustava i prema vrsti ušća na vrućim mlaznicama. Pri tome, svaki uljevni sustav treba zadovoljiti kriterije koje postavljaju otpresak, vrsta plastomerne taljevine, ubrizgavalica i konstrukcija kalupa. [6]

#### 2.2.3.4. Sustav za vađenje otpreska

Sustav za vađenje otpreska iz kalupa obavlja parcijalnu funkciju otvaranja kalupa i vađenja otpreska iz kalupne šupljine. Pri tome on treba udovoljiti sljedećim zahtjevima:

- vađenje otpresaka bez oštećivanja
- ostavljanje što je moguće manje vidljivih otisaka na otpresku
- jednoliko vađenje otpresaka
- pravilno postavljeni elementi za vađenje otpresaka
- pravilna koordinacija elemenata sustava za vađenje otpresaka sa sustavom za temperiranje kalupa. [6]

Nepravilno vađenje otpreska iz kalupne šupljine može dovesti do katastrofalnih kvarova, kao što su kidanja mehaničkih dijelova ubrizgavalice ili kalupa. Konstruktor kalupa može mnogo učiniti pri konstruiranju kalupa kako bi se ti kvarovi spriječili. To se može izbjeći pravilnim dimenzioniranjem opterećenih elemenata kalupa. Tipična, vrlo česta pogreška je lom nedovoljno dimenzioniranih izbacivala, što se može izbjeći primjenom izbacivala većeg promjera. Ispravnim vođenjem ploča izbacivala i pločastih skidala također se uklanja učestala greška pri vađenju otpresaka. To je nepodešenost prema provrtima, što dovodi do savijanja izbacivala i prevelikog trošenja provrta. [9]

Na temelju analize postojećih poznatih sustava i načina njihovog funkcioniranja, svi se sustavi za vađenje otpreska mogu podijeliti u one, koji su sastavni dio kalupa (elementi kalupa) i u one, koji djeluju izvan kalupa kao dio dopunske opreme (manipulatori, roboti ili ručno vađenje otpreska). Prema načinu djelovanja sustavi za vađenje otpresaka mogu se podijeliti na: *mehaničke*, *pneumatske*, *hidrauličke* i *mješovite*. Kod kalupa za injekcijsko prešanje plastomera danas se

najčešće upotrebljavaju sustavi s mehaničkim načinom vađenja, a rjeđe ostali načini kod posebnih otpresaka ili posebnih konstrukcija kalupa. [6]

Najpoznatiji sustav za vađenje otpresaka je onaj s izbacivalim koja izbacuju otpresak s jezgre. Upotrebljavaju se kod većine otpresaka debljih stijenki kod kojih nema opasnosti od pucanja ili vitoperenja, a otisci na otpresku su dopušteni.

Pri izradi otpresaka s podrezima u smjeru otvaranja kalupa potrebno je rabiti posebne sustave za vađenje otpreska iz kalupa. Otpresci koji imaju manje podreze mogu biti izrađeni u normalnom kalupu oblikovanjem podreza na posebnom umetku. U slučaju izrade otpresaka s većim podrezima rabe se različiti sustavi kliznika, odnosno školjkasti kalupi. Posebni sustavi vađenja otpreska iz kalupa rabe se i u slučaju izrade otpresaka s navojem, te za potrebe vađenja otpreska iz u više koraka. [6]

Pri razmatranju sustava za vađenje otpreska iz kalupa potrebno je spomenuti i neke posebne izvedbe sustava za otvaranje kalupa i vađenje otpresaka. To su sustavi za otvaranje kalupa i vađenje s pomoću lanca, s pomoću raznih krivulja, s pomoću povlačne kotve i s pomoću kružnog povlačila. [6]

#### **2.2.3.5. Sustav za temperiranje kalupa**

Kod injekcijskog prešanja sustavom za temperiranje dovodi se ili odvodi toplina potrebna za postizanje propisanog temperaturnog polja kalupa. Više o sustavu za temperiranje kalupa u 2.2.4.

#### **2.2.3.6. Sustav za odzračivanje kalupne šupljine**

Sustav za odzračivanje kalupa potrebno je izvesti zato što u kalupnoj šupljini pri ubrizgavanju taljevine zaostaje zrak. Zaostali ili zarobljeni zrak u kalupnoj šupljini može uzrokovati:

- pregaranje taljevine, posebice na liniji spajanja
- koroziju površine kalupne šupljine
- vidljivu liniju spajanja
- estetski nezadovoljavajuću površinu otpreska
- slabija uporabna svojstva otpreska
- nepopunjenost tankostijenih dijelova otpreska
- odstupanje dimenzija otpreska [9].

Odzračivanje kalupne šupljine osobito je važno tijekom faze ubrizgavanja, jer povišenje temperature zbog snižene viskoznosti taljevine uzrokuje veću brzinu ubrizgavanja. Da bi otpresak bio povišene kvalitete, potrebno je težiti što kraćim vremenima ubrizgavanja, u pravilu kraćim od 0,5 do 1 sekunde. Otvori za odzračivanje moraju biti izvedeni tako da taljevina ne može ulaziti u njih i na taj ih način zatvoriti. [9]

#### **2.2.3.7. Sustav za vođenje i centriranje elemenata kalupa**

Kako bi se osiguralo točno nalijeganje jednog dijela kalupa na drugi, rabe se različiti sustavi za vođenje i centriranje elemenata kalupa. Pri tome valja razlikovati vanjsko i unutrašnje centriranje. [4]

Vanjsko centriranje kalupa potrebno je radi točnog pozicioniranja kalupa na nosače kalupa ubrizgavalice, a izvodi se s pomoću prstena za centriranje, odnosno razdijeljenog prstena za centriranje u slučaju kada na steznim pločama



kalupa postoji izolacija. Prsten za centriranje omogućuje lako postavljanje kalupa na ubrizgavalicu, tako da se os uljevnog tuljca kalupa i os mlaznice ubrizgavalice podudaraju. [6]

Sustav za unutrašnje vođenje i centriranje kalupa služi za vođenje i centriranje kalupnih ploča i ostalih elemenata kalupa pri otvaranju i zatvaranju kalupa. [6]

#### **2.2.4. Sustav za temperiranje kalupa**

Sustav za temperiranje uljevne šupljine kalupa i kalupne šupljine ispunjava parcijalnu funkciju reguliranja temperature u kalupnoj i uljevnoj šupljini.

Pod temperiranjem se podrazumijeva postizanje propisane temperature stijenke kalupne šupljine, bez obzira treba li se pri tome toplina kalupu dovoditi ili odvoditi. Cilj je propisana temperatura stijenke kalupne šupljine, a način njena postizanja ovisi o stvarnim uvjetima, što dovodi do potrebe zagrijavanja ili hlađenja kalupa. Toplina se kalupu može dovoditi i odvoditi kapljevinama, a grijalima samo dovoditi. [9]

Pravilna izmjena topline u kalupu odlučujuće utječe na uspješno odvijanje i trajanje ciklusa injekcijskog prešanja. Osnovno načelo, koje određuje uspješnost prerade plastomera injekcijskim prešanjem je optimiranje temperaturne razlike između temperature taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine. Sa stajališta kvalitete otpresaka poželjno je da razlika između tih temperatura bude što manja, a proizvodnost zahtijeva što veću temperaturnu razliku. [11]

Općenito, moguće je razlikovati predtlačno i podtlačno temperiranje kalupa. Obzirom elemente sustava za temperiranje razlikuju se:

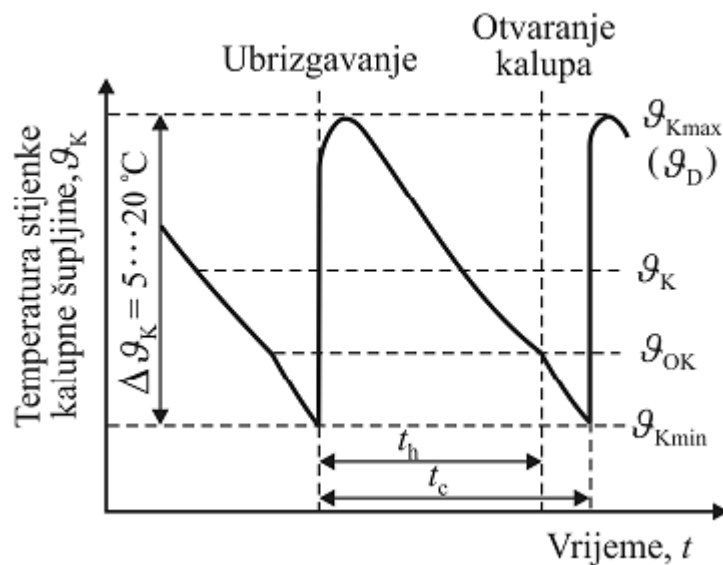
- temperiranje s pomoću medija za temperiranje (vodena para, plin, ulje, voda, voda s dodacima)

- elektrootporno temperiranje
- indukcijsko temperiranje
- poluvodičko temperiranje. [11]

Pri kalupima za injekcijsko prešanje plastomera najčešće se rabi temperiranje s pomoću medija za temperiranje. Na izbor medija i opreme za temperiranje utječu potrebna svojstva otpreska i željena proizvodnost. Potrebna temperatura stijenke kalupne šupljine posredna je veličina, koja određuje brzinu i temperaturu medija. [6]

Ne postoji jedinstvena temperatura kalupa, već u kalupu postoji temperaturno polje koje karakterizira određen broj temperatura (slika 2.13).

Posebno su važne temperature: medija za temperiranje, stijenke kalupne šupljine, dodirna temperatura i temperatura kalupa u dodiru sa okolinom. [4]



Slika 2.12. Temperaturno polje u kalupu [1]

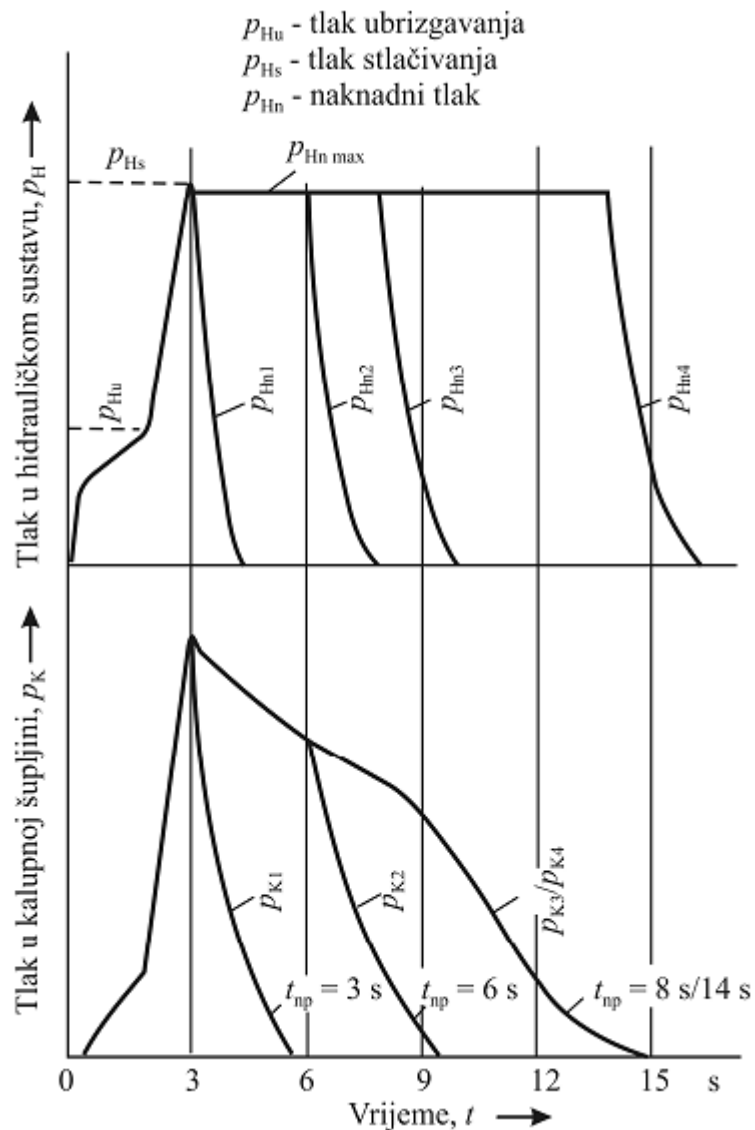
Na slici 2.12. prikazano je temperaturno polje u kalupu sa karakterističnim vremenima i temperaturama:  $t_h$  – vrijeme hlađenja,  $t_c$  – vrijeme ciklusa,  $\vartheta_D$  – dodirna temperatura,  $\vartheta_K$  – temperatura stijenke kalupne šupljine,  $\vartheta_{OK}$  – temperatura u trenutku otvaranja kalupa. [4]

## 2.3. Naknadni tlak

Najvažniji razlog uporabe naknadnog tlaka tijekom ciklusa injekcijskog prešanja je dodavanje novog materijala u kalupnu šuplinu u cilju smanjenja stezanja materijala nastalog uslijed hlađenja. Time se sprječavaju pojave grešaka na otpresku kao što su mjehuravost i usahline, a stezanje i vitoperenje se minimiraju.

Faza djelovanja naknadnog tlaka počinje s točkom preklapanja s tlaka ubrizgavanja, a završava na kraju djelovanja naknadnog tlaka kada dolazi do pečačenja ušća.

Tijekom faze djelovanja naknadnog tlaka, mala je korelacija između tijeka tlaka u hidrauličkom sustavu i u kalupnoj šupljini (Slika 2.14). [7]



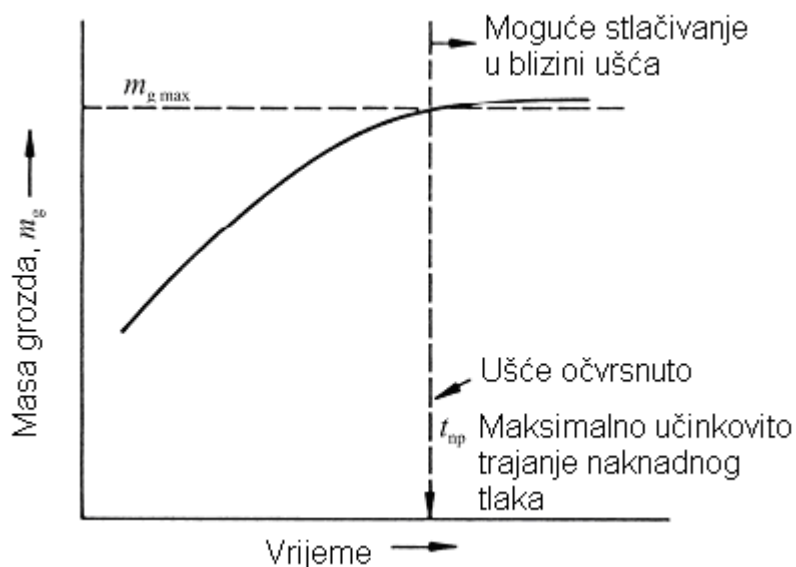
Slika 2.13. Korelacija između naknadnog tlaka u hidrauličkom sustavu ubrizgavalice i u kalupnoj šupljini [7]

Na slici 2.13. prikazana je korelacija između naknadnog tlaka u hidrauličkom sustavu ubrizgavalice i u kalupnoj šupljini, a pri tom su korištene sljedeće oznake:  $p_H$  - tlak u hidrauličkom sustavu ubrizgavalice,  $p_K$  - tlak u kalupnoj šupljini,  $t_{np}$  - vrijeme djelovanja naknadnog tlaka. [7]

Vrijednost i trajanja naknadnog tlaka imaju bitan utjecaj na dimenzijsku stabilnost te optička svojstva otpreska. Određivanja vrijednosti naknadnog tlaka temelji se na jednostavnom mjerenju izmjera otpreska, kao i na vizualnom pregledu (izostanak usahlina). [7]

## 2.4. Vrijeme djelovanja naknadnog tlaka

Pod vremenom djelovanja naknadnog tlaka najčešće se smatra vrijeme potrebno za učvršćivanje ušća. Drugi je pristup dovođenje u vezu vremene djelovanja naknadnog tlaka i mase otpreska. Sustavnim mjerenjem moguće je uočiti da nakon određenog vremena, produljenje vremena djelovanja naknadnog tlaka neće imati utjecaja na povećanje mase proizvoda (slika 2.14). Stoga je moguće odrediti optimalno vrijeme djelovanja naknadnog tlaka. [7]

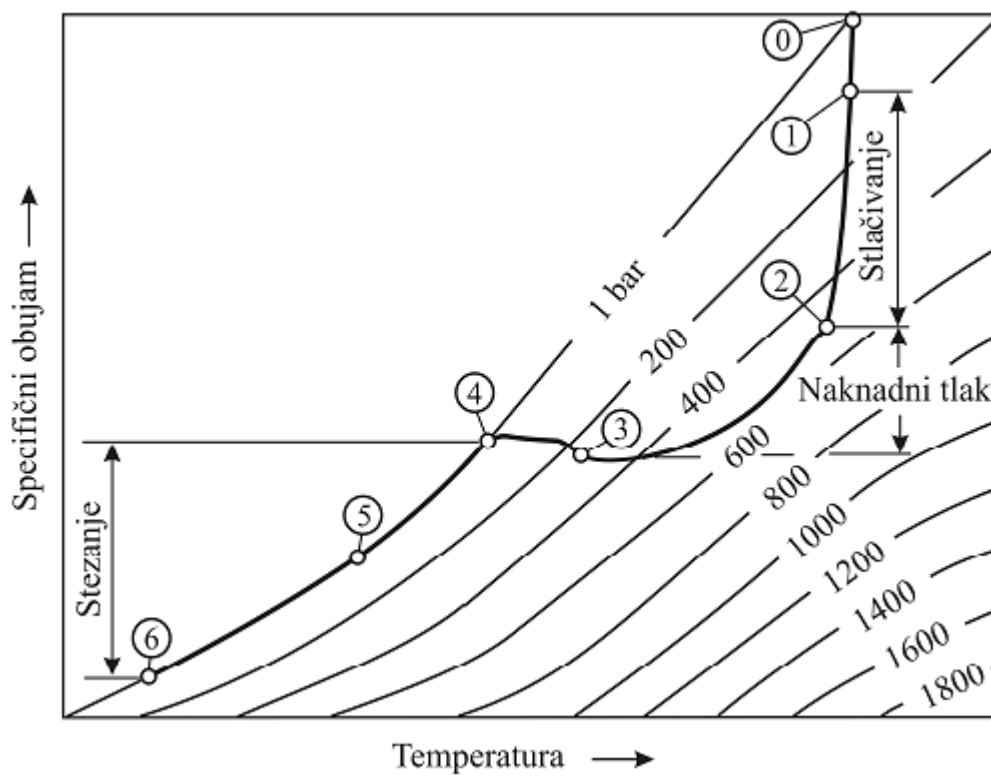


Slika 2.14 Određivanje optimalnog vremena djelovanja naknadnog tlaka [7]

## 2.5. Tijek tlaka ubrizgavanja i tlaka u kalupnoj šupljini

Tlak ubrizgavanja je omjer sile ubrizgavanja i ploštine presjeka ubrizgavala. Čim naiđe na otpor taljevine, tlak ubrizgavanja naglo poraste i održava se stalnim dok se ne preklopi na naknadni tlak. Kada očvrсне ušće, uz određeni pretičak vremena zbog sigurnosti, počinje plastificiranje.

Dijagram stanja  $p$ - $v$ - $T$  važno je pomagalo u suvremenoj strategiji namještanja i regulacije uvjeta procesa injekcijskog prešanja (slika 2.15). [4]



Slika 2.15 Dijagram  $p-v-T$  za polistiren [4]

*Volumno punjenje kalupne šupljine.* U trenutku 0 taljevina dolazi u nadzornu točku u kalupnoj šupljini, a tlak u kalupnoj šupljini raste. Porast tlaka popraćen je laganim hlađenjem taljevine do trenutka potpunog ispunjavanja kalupne šupljine.

*Stlačivanje.* Nakon faze punjenja kalupne šupljine, taljevina se stlači s pomoću naknadnog tlaka. U toj fazi tlak u kalupnoj šupljini postiže maksimum. Efekti hlađenja taljevine još su uvijek vrlo mali.

*Djelovanje naknadnog tlaka.* Otpresak očvršćuje te se steže i odvaja od stijenki kalupne šupljine. Smanjenje obujma moguće je nadoknaditi ubrizgavanjem dodatne taljevine u kalupnu šupljinu. Uslijed povećanih efekata hlađenja, efektivni presjek kroz kojeg je moguće tečenje taljevine je smanjen, pa je pad tlaka kroz uljevni sustav veći.

*Izohorno sniženje tlaka.* Kada dođe do potpunog očvršćivanja ušća i taljevine u području kalupne šupljine oko ušća, ubrizgavanje dodatne taljevine više nije moguće. Stoga dolazi do daljnjeg izohornog pada tlaka u kalupnoj šupljini (bez promjena u specifičnom obujmu).

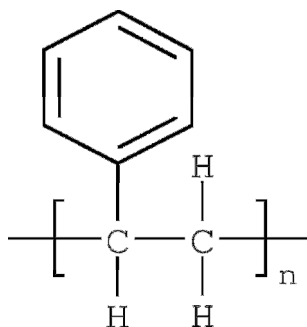
*Hlađenje do vađenja iz kalupne šupljine.* Nakon postizanja tlaka u kalupnoj šupljini od 1 bar, daljnje sniženje tlaka nije moguće (izjednačio se s okolišnjim tlakom), pa se daljnje hlađenje otpreska odvija pri izobarnim uvjetima.

*Hlađenje do temperature okoliša.* Otpresak se vadi iz kalupne šupljine u točki 5, te se nastavlja hladiti do okolišne temperature izvan kalupa.

Iz dijagrama je očigledno kako se najvažnije promjene u  $p$ - $v$ - $T$  dijagramu javljaju tijekom djelovanja naknadnog tlaka (2-4). Stoga se većina svojstava otpreska kao što su specifični obujam, masa, stezanje, zaostala naprezanja i dimenzijska stabilnost uglavnom određuju tijekom faze djelovanja naknadnog tlaka. Točka pri kojoj tlak u kalupnoj šupljini dostiže okolišnji tlak (4) ključna je u definiranju stezanja otpreska tj. postizanja odgovarajuće dimenzijske stabilnosti. U toj točki otpresak počinje gubiti dodir sa stijenkama kalupne šupljine. U praksi, stezanje otpreska obično završava po postizanju okolišne temperature (6), no pri preradi kristalastih plastomera valja računati sa naknadnim stezanjem kao funkcijom naknadne kristalizacije plastomera. [7]

## 2.6. Polistiren

Za izradu otpreska upotrijebljeni materijal je polistiren. Polistiren je plastomer linearnih makromolekula koje se sastoje od niza  $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-$  ponavljajućih jedinica (slika 2.16.).



Slika 2.16. Polistiren

Polistiren je prozirni bezbojni plastomer i može se bojati različitim bojama. Otporan je na vodu i uvjete u prostorijama ali žuti i postaje krt pod utjecajem ultraljubičastog zračenja, te se ne preporučuje za upotrebu na otvorenom prostoru. Polistireni dobiveni jednom od metoda polimerizacije oplemenjuju se i dovode na tržište kao tri osnovna tipa:

- Polistireni (PS)
- modificirani polistireni, koji se još nazivaju polistireni otporni na udarce (PS - HI)
- pjeneći polistireni. (PS – E) [12]

*Polistireni* se proizvode u velikom broju nijansi i boja, a često se izrađuju i sa specijalnim efektima kao što su fluorescentnost i metalni sjaj. Polistireni najviše se prerađuju postupkom injekcijskog prešanja. Primjena polistirena je široka a neke od njih su: ambalaža za jednokratnu upotrebu, čepovi i bočice za lijekove, zidne pločice, kućišta i skale mjernih instrumenata, posude za hlađenje, itd.



*Modificirani polistireni* proizvode se umješavanjem normalnog polistirena sa elastomerima. Mijenjanjem količine i vrste elastomera mogu se proizvoditi razni tipovi modificiranih polistirena kao što su srednje modificirani, visoko modificirani i polistireni postojani na povišene temperature. Modificirani polistireni primjenjuju se za izradu raznih predmeta za domaćinstvo, ambalažu, televizije i radio aparate, igračke, dijelove za frižidere (slika 2.17.), itd. [12]



Slika 2.17. Primjer proizvoda od polistirena [13,14]

*Pjeneći polistiren* se u načelu proizvodi u dva osnovna tipa koji se razlikuju po načinu pripreme i svojstvima.

Prvi tip se proizvodi u obliku kuglica 0,2-2,5 mm koje su impregnirane najčešće ugljikovodicima. Za primjenu u građevinarstvu proizvode se samogasivi pjeneći tipovi polistirena. Pjeneći polistiren se upotrebljava za izradu zaštitne i dekorativne ambalaže za mjerne i medicinske aparate, za fotoaparate i sličnu opremu. Uspješno se koristi i za izradu raznih plutajućih proizvoda kao što su plovci na ribarskim mrežama, pojasevi za spasavanje i slično.

Drugi tip pjenećeg polistirena proizvodi se suhim miješavanjem ili homogenizacijom polietilena i dodatka taljevini. Gustoća ovih polistirena može se regulirati količinom i tipom pjenećeg sredstva. Ovako proizvedeni polistireni imaju

dobra mehanička svojstva i imaju primjenu kao zamjena za drvo, za izradu dijelova namještaja, peta za cipele itd. [12]

Kao i kod injekcijskog prešanja ostalih plastomera, i za polistiren se također moraju pridržavati uvjeti prerade koji zavise o tipu polistirena, karakteristikama ubrizgavalice, konstrukciji kalupa i obliku otpreska. Modificirani polistireni se prerađuju kod nešto nižih temperatura u odnosu na normalne tipove polistirena. Previsoke temperature i predugo zadržavanje materijala u cilindru mogu dovesti do razgradnje polistirena što ima za posljedicu dobivanje oštećenih otpresaka s nižim mehaničkim svojstvima. Ne preporučuje se upotreba visokih tlakova bez povećanja temperature taljevine polistirena zbog pojave zaostalih unutrašnjih naprezanja, predmeti su krti i lako se lome. Kod prerade polistirena veoma je važna temperatura stijenke kalupne šupljine jer niske temperature stijenke kalupne šupljine dovode do pojave linija spajanja i slabljenja materijala a time i otpreska na tim mjestima. [12]

Tablica 2.1 Osnovna svojstva polistirena [12]

Svojstva		Mjerne jedinice	Polistiren (PS)
TOPLINSKA	Specifični toplinski kapacitet	kJ/kgK	1,3
	Toplinska provodnost	W/mK	0,18
	Toplinska difuznost	m <sup>2</sup> /s 10 <sup>8</sup>	8,7-8,3
	Toplinska prodornost	W <sub>s</sub> <sup>1/2</sup> /m <sup>2</sup> K	455-519
	Temperatura postojanosti oblika (DIN 5346)	K	351-372
FIZIČKA	Gustoća	kg/m <sup>3</sup>	1050
	Skupljanje	%	0,6
	Apsorpcija vode 3 mm	%	0,03-0,1
	Brzina gorenja	cm/min	sporo
	Otpornost prema djelovanju svjetla		žuti
	Propusnost svjetla	%	88-92
	Mutnoća	%	0,1-3,0
	Postojanost na kiseline		dobra
	Postojanost na lužine		dobra
MEHANIČKA	Rastezna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	35-84
	Savojna čvrstoća	N/mm <sup>2</sup>	40-100
	Savojna žilavost	kg cm/cm	1,35-2,16
	Modul elastičnosti	N/mm <sup>2</sup>	2810-4220
	Tvrdoća, Rockwell		M-65 do M-80
ELEKTRIČKA	Dielektrična čvrstoća	V/0,0025 mm	500-700
	Površinski otpor	Ω	1x10 <sup>16</sup>
	Dielektrična konstanta		2,45-2,65
	Volumni specifični otpor	Ω/cm	10 <sup>15</sup> -10 <sup>16</sup>
	Dielektrični faktor gubitka kod 50 Hz		0,0001-0,0005

## **3. EKSPERIMENTALNI RAD**

### **3.1. Cilj istraživanja**

Cilj istraživanja je bio ustanoviti utjecaj naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na masu odabranog otpreska.

Eksperimentalna analiza sastojala se iz provedbe predpokusa na ubrizgavalici u cilju izbora granica za provedbu glavnog pokusa.

### **3.2. Sustav za injekcijsko prešanje**

#### **3.2.1. Ubrizgavalica**

Za izvedbu eksperimentalnog dijela korištena je ubrizgavalica proizvođača ENGEL, Victory 330/80 Power (slika 3.1) čije tehničke karakteristike su navedene u tablici 3.1.



Slika 3.1. Ubrizgavalica ENGEL, Victory 330/80

Ubrizgavalica ENGEL, Victory 330/80 Power je upotpunosti opremljena računalnim programima za vođenje procesa injekcijskog prešanja, te za optimiranje parametara preradbe.

Tablica 3.1 Tehnički podaci ubrizgavalice ENGEL, Victory 330/80 Power [15]

Jedinica za ubrizgavanje	Vrijednost	Jedinica
Promjer pužnog vijka	35	mm
Put doziranja	160	mm
Maks. volumen ubrizgavanja	154	cm <sup>3</sup>
Broj okr. pužnog vijka	400	min <sup>-1</sup>
Dužina pužnog vijka (3 zone)	20	
Učin plastificiranja (3 zone)	21	g/s
Brzina ubrizgavanja	152	cm <sup>3</sup> /s
Spec. tlak ubrizgavanja	1600	bar
Spec. tlak ubrizgavanja povišeni	2180	bar
Hod mlaznice	250	mm
Sila nalijeganja mlaznice	47	kN
Učin grijala	9,2	kW
Broj zona grijanja uključujući mlaznicu	4	
Jedinica za zatvaranje		
Sila zatvaranja	600	kN
Hod otvaranja	450	mm
Ugradbena visina kalupa min.-maks.	250	mm
Razmak ploča maks.	700	mm
Veličina steznih ploča hor. x vert.	670x420	mm
Povećana veličina steznih ploča hor. x vert.	670x600	mm
Razmak vodicica hor. x vert.		mm
Širina otvora ispod steznih ploča	450	mm
Masa kalupa maks.	450	kg
Hod izbacivala	100	mm
Sila izbacivala	40	kN
Prazni ciklus	1,3	s
Hod	150	mm
Pogon		
Pogonska snaga pumpe	15	kW
Količina ulja	185	l

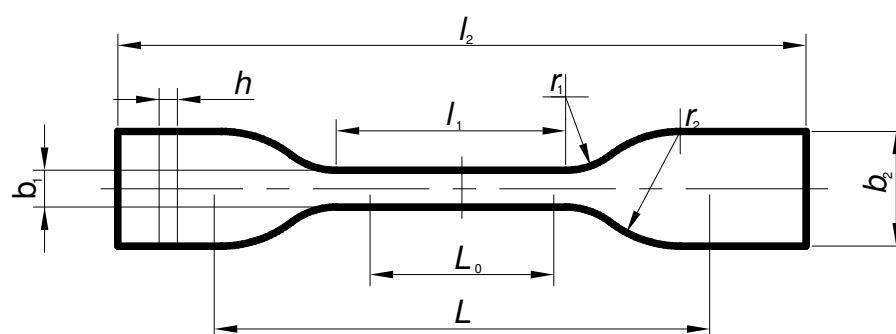
### 3.2.2. Otpresak

Injekcijskim prešanjem odabranog materijala (polistirena) dobili smo otpresak (slika 3.2.).



Slika 3.2. Izgled dobivenog otpreska

U tablici 3.3. dani su podatci o dimenzijama otpreska.



Slika 3.3. Specijalni oblik ispitnog tijela [16]

Tablica 3.2 Dimenzije rasteznih specijalnih ispitnih tijela [16]

Tip ispitnog tijela	Dimenzije [mm]	
	5A	5B
$l_2$ – ukupna duljina	$\geq 75$	$\geq 35$
$b_2$ – širina pri kraju	$12,5 \pm 1$	$6 \pm 0,5$
$l_1$ – duljina uskog paralelnog dijela	$25 \pm 1$	$12 \pm 0,5$
$b_1$ – širina uskog dijela	$4 \pm 0,1$	$2 \pm 0,1$
$r_1$ – mali radijus	$8 \pm 0,5$	$3 \pm 0,1$
$r_2$ – veliki radijus	$12,5 \pm 1$	$3 \pm 0,1$
$L$ – početna udaljenost između čeljusti	$50 \pm 2$	$20 \pm 2$
$L_0$ – mjerna duljina	$20 \pm 0,5$	$10 \pm 0,2$
$h$ - debljina	$\geq 2$	$\geq 1$

### 3.3. Planiranje pokusa

Tlak u kalupnoj šupljini je parametar prerade koji je vrlo značajno utječe na kvalitetu otpreska. Dvije faze u tijeku tlaka u kalupnoj šupljini odlučujuće utječu na kvalitetu otpreska. To su faza volumnog punjenja kalupne šupljine s pripadajućom fazom stlačivanja, te faza djelovanja naknadnog tlaka.

U eksperimentalnom dijelu ovog rada željelo se definirati utjecaj visine i vremena djelovanja naknadnog tlaka na masu otpreska.

Upotrijebio se plan pokusa koji će dati najviše informacija s najmanjim brojem ispitivanja uz potrebnu točnost rezultata.

Odabran je centralno-kompozitni pokus, koji omogućuje modeliranje polinomom 2. stupnja te je stoga moguće dobiti prikaz odzivne površine koja se istražuje u odabranim granicama.

### 3.3.1. Centralno kompozitni pokus

Centralno kompozitni pokus pripada skupini pokusa višeg reda, tzv. metodama odzivne površine. Metoda odzivne površine obuhvaća skup statističkih i matematičkih metoda koje se primjenjuju za razvoj, poboljšanje i optimiranje procesa. Mjerljiva veličina kvalitete proizvoda naziva se odziv. Poznavanje odzivne površine s dovoljnom preciznošću, točnošću i pouzdanošću dopušta predviđanje budućih rezultata u okviru područja analiziranih faktora, te daje uvid u čitav proces. [17]

U praksi se pokazalo kako su najčešće dovoljne funkcije odziva prvog i drugog reda. Polinomske aproksimacije pogodne su posebice stoga što omogućuju lagano izračunavanje koeficijenata polinoma, ali se trebaju smatrati samo aproksimacijom stvarne zakonitosti i to u istraživanom području. [17]

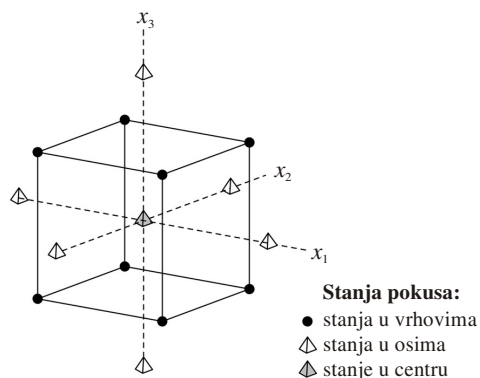
Svrha centralno kompozitnog pokusa je generiranje matematičkog modela, odnosno jednadžbe (polinoma 2. stupnja) koja opisuje proces. Ukoliko su proučavani faktori u pokusu zaista oni koji utječu na proces, a podatci dobiveni pokusom prihvatljive točnosti i preciznosti, tada je moguće razviti model koji vjerodostojno opisuje proces. [17]

Centralno kompozitni pokus je model pokusa 1. reda ( $2^k$ ) proširen dodatnim točkama (stanjima pokusa) u centru i točkama u osima kako bi se omogućila procjena parametara modela 2. reda. Centralno kompozitni model pokusa sastoji se od  $2^k$  stanja u vrhovima (faktorska stanja),  $2k$  stanja u osima i stanja u centru pokusa ( $k$  - broj promatranih faktora). Centralno kompozitni pokus je alternativa  $3k$  modelu u izgradnji modela pokusa 2. reda. Pri tome je broj izvođenja (faktorskih stanja) smanjen u usporedbi s potpunim faktorskim modelom pokusa. [17]

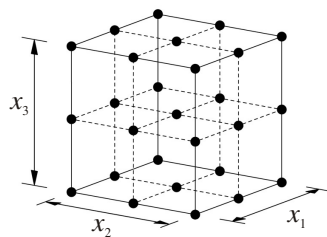
Za  $k = 3$  (faktori su  $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_3$ ), na slici 5.1 prikazan je model centralno kompozitnog pokusa za koji je potrebno 15 stanja pokusa ( $2^3 + 2 \cdot 3 + 1$ ). U slučaju potpunog



faktorskog plana pokusa (slika 3.4.), bilo bi potrebno 27 stanja pokusa. [17]



Slika 3.4. Model centralno kompozitnog pokusa za tri faktora [17]



Slika 3.5. Model potpunog faktorskog plana pokusa  $3^k$  [17]

Poželjna karakteristika svakog pokusa je međusobna nezavisnost procjena glavnih faktora i njihovih interakcija, što se postiže ortogonalnošću i rotatabilnošću pokusa. Pokus je ortogonalan ukoliko je zbroj produkata kodiranih stanja bilo koje dvije kolone u matrici pokusa jednaka nuli. Rotatabilnost centralno kompozitnog pokusa postiže se dodavanjem stanja pokusa tako da su sva stanja jednako udaljena od centra pokusa, odnosno rotabilnost ovisi o tzv. osnoj udaljenosti  $\alpha$  (udaljenost stanja pokusa u osima od centra pokusa). [17]

Pokus je rotabilan ukoliko je:

$$\alpha = \sqrt[k]{F} \quad (3.1)$$

gdje je  $F$  - broj faktorskih stanja ( $F = 2^k$  u slučaju potpunog faktorskog pokusa).

U tablici 3.3 su navedene u vrijednosti  $\alpha$  za rotabilni centralno kompozitni pokus. [17]

Tablica 3.3 Vrijednosti odne udaljenosti  $\alpha$

Broj faktora $k$	Broj faktorskih stanja $F$	Broj ukupnih stanja pokusa $N$	Oсна udaljenost $\alpha$
2	4	$8 + n_c^*$	1,414
3	8	$14 + n_c$	1,682
4	16	$24 + n_c$	2,000
5	32	$42 + n_c$	2,378

\* $n_c$  - broj stanja u centru pokusa

Dodatna stanja u centru pokusa služe kako bi se moglo usporediti vrijednosti mjerenja zavisne varijable u centru pokusa s aritmetičkom sredinom za ostatak pokusa. Ukoliko je aritmetička sredina centra pokusa signifikantno različita od ukupne aritmetičke sredine svih ostalih stanja pokusa, tada se može zaključiti da veza između faktora pokusa i zavisne varijable nije linearna. Ukoliko se pokus barem djelomično ponavlja, moguće je procijeniti grešku pokusa iz varijabilnosti ponovljenih stanja. Kako se ta stanja izводе pod identičnim uvjetima, odnosno identičnim razinama faktora, procjena greške pokusa iz tih podataka nezavisna je o tome je li model pokusa linearan ili nelinearan, te sadrži li interakcije višeg reda. Tako procijenjena greška pokusa predstavlja čistu grešku (e. *pure error*), odnosno ona je posljedica samo nepouzdanosti mjerenja zavisne varijable. [17]

Jednadžba (polinom II. stupnja) kojim se opisuje proces (odzivna funkcija) za općeniti slučaj glasi (slučaj  $k$  faktora pokusa):

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots + b_{k-1}x_{k-1}x_k + b_{11}x_1^2 + \dots + b_{kk}x_k^2 \quad (3.2)$$

Pri tome se koeficijenti  $b_0, \dots, b_k$  određuju s pomoću metode minimalne sume kvadrata odstupanja računskih od stvarnih vrijednosti.

Matrica stanja centralno kompozitnog pokusa  $\mathbf{X}$  s 2 faktora i vektor odziva  $\mathbf{Y}$  prikazane su izrazom 3.3:

$$\begin{array}{cccccc}
 x_0 & x_1 & x_2 & x_1^2 & x_2^2 & x_1 x_2 & y_i
 \end{array}$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1,414 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 1,414 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1,414 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 1,414 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \\ y_9 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

U slučaju 3 faktora, matrica stanja pokusa se povećava, pa je ovdje prikazana djelomična matrica stanja centralno kompozitnog pokusa  $\mathbf{D}$  (samo glavni faktori).

$$\begin{array}{ccc}
 x_1 & x_2 & x_3
 \end{array}$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \\ -1,682 & 0 & 0 \\ 1,682 & 0 & 0 \\ 0 & -1,682 & 0 \\ 0 & 1,682 & 0 \\ 0 & 0 & -1,682 \\ 0 & 0 & 1,682 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

### 3.3.2. Pretpokus

Pretpokusom je određeno maksimalno vrijeme trajanja naknadnog tlaka odnosno vrijeme trajanja naknadnog tlaka do kad njegova promjena ima utjecaj na promjenu mase otpreska.

Prije početka pretpokusa na ubrizgavalici izvršen je proračun vremena djelovanja naknadnog tlaka  $t_{np}$ .

Proračun vremena djelovanja naknadnog tlaka svodi se na određivanje vremena hlađenja uljevnog sustava s otpreskom. U promatranom slučaju najuži presjek ima ušće pa je proračunom određivano potrebno vrijeme hlađenja ušća. Za proračun vremena hlađenja ušća vrijede ista pravila kao i za određivanje potrebnog vremena hlađenja otpreska.

$$t_{np} = \frac{b_0^2}{K_0 \times a_{ef} \times \pi^2} \ln \left( K_u \frac{T_T - T_K}{T_{PO} - T_K} \right), [s] \quad (3.5)$$

gdje je:  $b_0$  – debljina ušća

$h_0$  – širina ušća

$K_0$  – koeficijent oblika

$a_{ef}$  – efektivna toplinska difuzivnost

$K_u$  – koeficijent unutrašnjosti

$T_T$  – temperatura taljevine

$T_K$  – temperatura stijenke kalupne šupljine

$T_{PO}$  – prosječna temperatura otpreska

pri čemu je koeficijent oblika:

$$K_0 = (1 + a_{10}^2 + a_{20}^2) \quad (3.6)$$

Dok se efektivna temperatura provodnosti računa prema izrazu:

$$a_{ef} = a_1 T_K + b_1 \quad (3.7)$$

Koeficijent unutrašnjosti uzima se za ploču:

$$K_U = \frac{4}{\pi} \quad (3.8)$$

U jednadžbi 3.7  $a_1$  i  $b_1$  su koeficijenti pravca za  $a_{ef}$ .

Nakon što su uvrštene sve potrebne vrijednosti u jednadžbu 3.5. vrijeme naknadnog tlaka do kojeg ima utjecaja na masu otpreska je:

$$t_{np} = 1 \text{ s}$$

Tablica 3.4. Mase ispitaka pretpokusa pri naknadnom tlaku od 580 bara

Vrijeme t, s	Masa otpreska m, g				
	1	2	3	4	5
0,1	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93
0,2	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95
0,3	5,97	5,97	5,97	5,98	5,97
0,4	5,99	5,99	5,98	5,99	5,98
0,5	6,00	6,00	5,99	6,00	6,00
0,6	6,18	6,18	6,19	6,19	6,07
0,7	6,07	6,07	6,07	6,07	6,08
0,8	6,07	6,07	6,07	6,06	6,06
0,9	6,13	6,18	6,08	6,18	6,18
1,0	6,18	6,18	6,18	6,19	6,18
1,1	6,18	6,18	6,19	6,19	6,18
1,2	6,18	6,18	6,18	6,18	6,19
1,3	6,18	6,18	6,18	6,18	6,18

Nakon izvedenog pretpokusa ustanovljeno je da vrijeme djelovanja naknadnog tlaka ima utjecaj na masu otpreska do 1 sekunde (tablica 3.4.).

### 3.3.3. Pokus

S pomoću centralno kompozitnog pokusa se analizirao utjecaj dva parametra na masu otpreska:

$x_1$  – naknadni tlak  $p_{np}$ , bar

$x_2$  – vrijeme naknadnog tlaka  $t_{np}$ , s

Bilo je potrebno provesti 13 stanja pokusa pri čemu je stanje u centru ponavljano pet puta. Za svako stanje pokusa je odabrano 10 ispitaka te je za svaki ispitak izmjerena masa.

Tablica 3.5 Faktori i njihove razine

Razine faktora	$x_1$ – naknadni tlak $p_{np}$ , bar	$x_2$ – vrijeme trajanja naknadnog tlaka $t_{np}$ , s
-1,414	322,7	0,03
-1	360	0,2
0	450	0,6
1	540	1
1,414	577,5	1,17

Mjerenja masa otpreska te njihove aritmetičke sredine za svako stanje pokusa navedeni su u tablici 3.6.

Tablica 3.6 Mase otpresaka i njihove aritmetičke sredine

Stanje pokusa	3	1	11	5	7	10	9	6	4	13	8	2	12
Tlak, bar	360	360	450	322	450	450	450	577	540	450	450	540	450
Vrijeme, s	1,0	0,2	0,6	0,6	0,03	0,6	0,6	0,6	1,0	0,6	1,17	0,2	0,6
1	6,04	5,97	6,10	6,02	5,93	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,10	5,96	6,10
2	6,05	5,96	6,10	6,01	5,93	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,11	5,97	6,10
3	6,03	5,96	6,10	6,02	5,93	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,10	5,97	6,09
4	6,05	5,96	6,10	6,02	5,92	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,10	5,97	6,10
5	6,04	5,97	6,10	6,02	5,93	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,10	5,97	6,10
6	6,04	5,96	6,10	6,01	5,93	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,10	5,97	6,10
7	6,05	5,96	6,10	6,02	5,93	6,10	6,10	6,19	6,17	6,10	6,10	5,97	6,11
8	6,05	5,96	6,11	6,02	5,93	6,10	6,10	6,19	6,16	6,10	6,10	5,97	6,10
9	6,05	5,96	6,10	6,02	5,93	6,10	6,10	6,18	6,16	6,10	6,10	5,97	6,10
10	6,05	5,97	6,10	6,01	5,93	6,10	6,10	6,18	6,17	6,10	6,10	5,97	6,10
$\bar{x}$	6,045	5,963	6,101	6,017	5,929	6,10	6,10	6,182	6,162	6,10	6,101	5,969	6,101

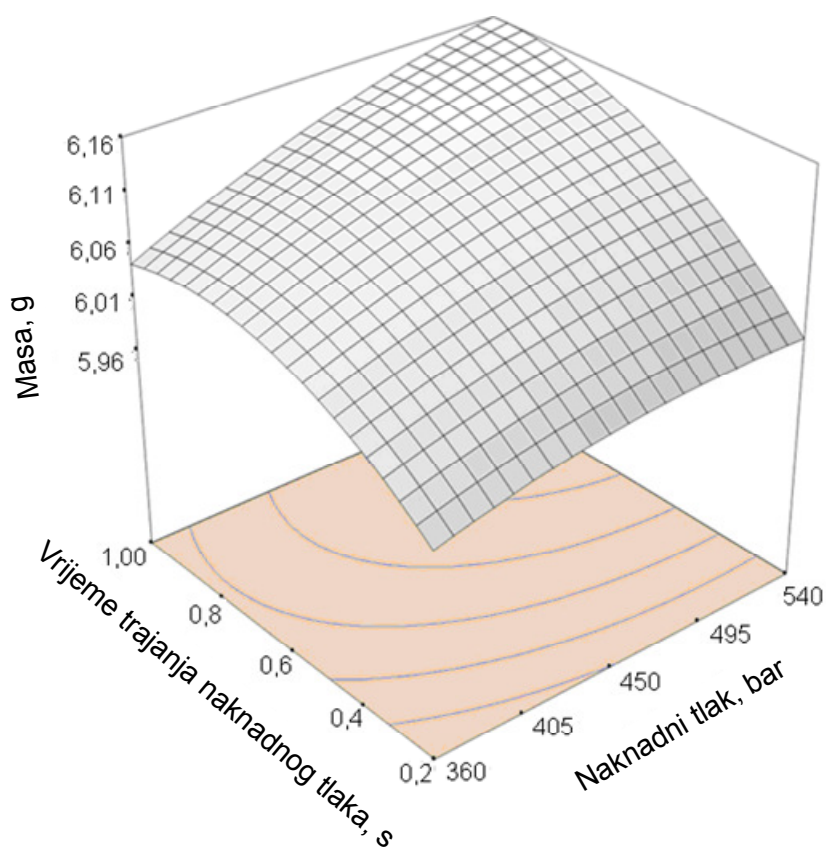
U tablici 3.7 prikazani su rezultati obradbe modulom ANOVA (analiza varijance). Stanje pokusa br. 6 i br. 2 izbačeno je iz obrade jer je statistička analiza pokazala da odziv u tim točkama ne odgovara modelu.

Tablica 3.7 Rezultati analize varijance - masa otpreska

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze *H <sub>0</sub>
Model		0,049	5	0,00971	27546,55	< 0,0001
	x <sub>1</sub>	0,001996	1	0,001996	5660,46	< 0,0001
	x <sub>2</sub>	0,015	1	0,015	43022,73	< 0,0001
	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	0,0003648	1	0,0003648	1034,40	< 0,0001
	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	0,012	1	0,012	33456,18	< 0,0001
	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	0,0005361	1	0,0005361	1520,29	< 0,0001
Ostatak		0,000001763	5	0,0000003527		
	ξ	0,0000005633	1	0,0000005633	1,88	0,2425
	ε	0,0000012	4	0,0000003		
Ukupno		0,049	10			

\*H<sub>0</sub>: nulta hipoteza – nema signifikantnog utjecaja faktora

Slika 3.6. prikazuje trodimenzionalnu ovisnost mase otpreska o promjenama vremena trajanja naknadnog tlaka i same vrijednosti naknadnog tlaka. Vidljivo je da najveći utjecaj na masu otpreska ima vrijeme djelovanja naknadnog tlaka za razliku od same vrijednosti naknadnog tlaka, iz tablice 3.7 se vidi da su svi faktori signifikantni.



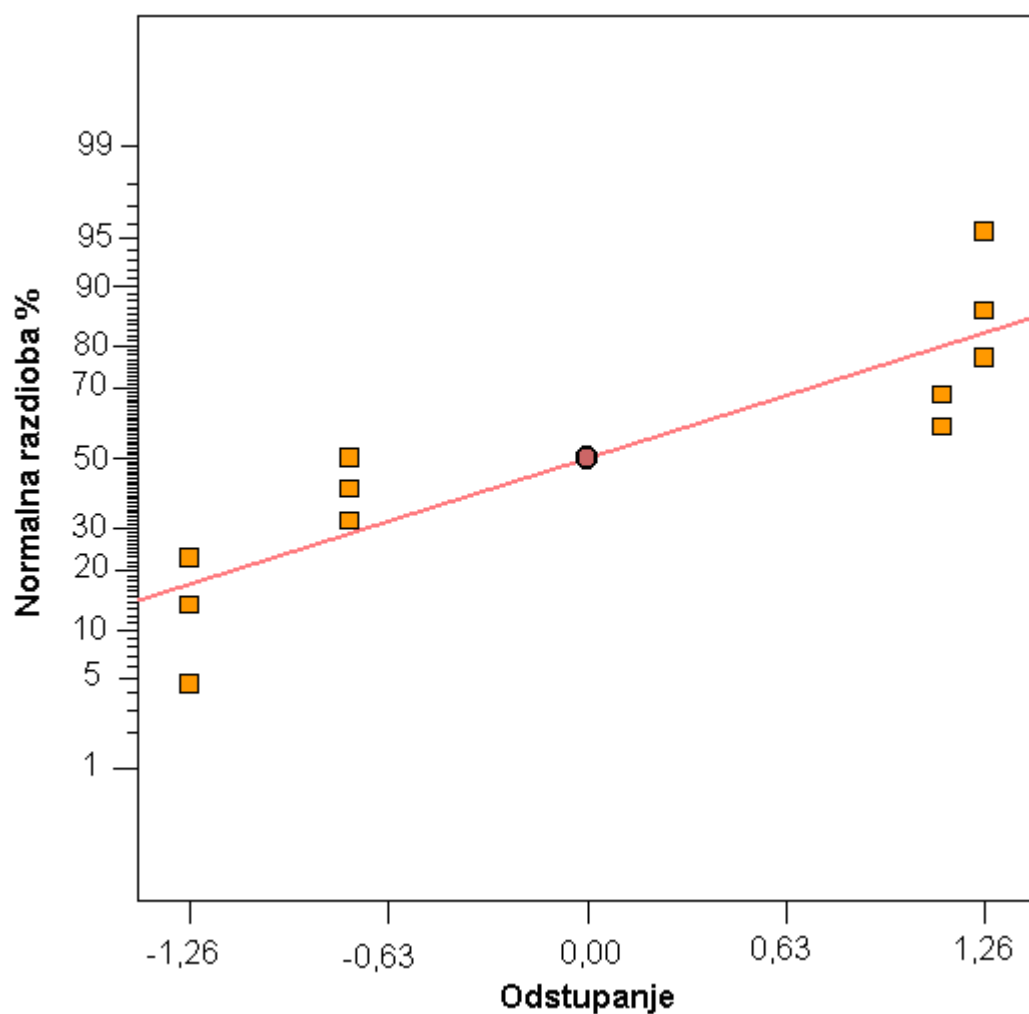
Slika 3.6. Ovisnost mase otpresaka o vremenu trajanja naknadnog tlaka i naknadnom tlaku

Prema koeficijentima regresije uz varijablu masu otpreska, utjecaj vremena trajanja naknadnog tlaka i vrijednosti naknadnog tlaka na masu otpreska može se opisati sljedećom jednadžbom (varijable  $x_1$  i  $x_2$  upisuju se u kodiranom obliku):

$$y = 6,10 + 0,039x_1 + 0,061x_2 - 0,015x_1^2 - 0,043x_2^2 + 0,02x_1x_2 \quad (3.9)$$

Npr., za  $x_1 = 479,8$  bar (kodirana vrijednost = 0,33),  $x_2 = 0,94$  s (kodirana vrijednost = 0,85) očekivana vrijednost mase otpreska bit će 6,13 g.





Slika 3.7 Rasipanje točkaka oko pravca regresije (varijabla je masa)

Slika 3.7. prikazuje rasipanje točkaka oko pravca regresije. Točke stanja pokusa nalaze se oko ili na pravcu regresije što znači da jednađžba (3.9) vrlo dobro opisuje proces koji se pokorava zakonitostima normalne razdiobe.

## 4. ZAKLJUČAK

Injekcijsko prešanje plastomera jedan je od najraširenijih i najvažnijih postupaka prerade polimera. U tom postupku postoji niz čimbenika koji mogu utjecati na postupak izrade, kao i kvalitetu dobivenog otpreska.

U ovom radu detaljnije je proučavan utjecaj dva vrlo važna čimbenika koji utječu na masu plastomernog otpreska. To su vrijeme trajanja naknadnog tlaka i sama vrijednost naknadnog tlaka. Njihov utjecaj ispitan je i eksperimentalnim putem, pri čemu su otpresci dobiveni injekcijskim prešanjem.

Pri tom je upotrebljen plan pokusa koji osigurava najveći broj korisnih informacija s najmanjim brojem ispitivanja, uz zadržavanje potrebne točnosti rezultata. Provedena je i statistička obradba dobivenih mjernih podataka. Pri tom su nelogični mjerni podaci izbačeni kao nekorisni. Provedeni centralno-kompozitni plan pokusa pokazuje da vrijeme trajanja naknadnog tlaka i visina naknadnog tlaka bitno utječu na masu otpreska, a time i kvalitetu otpreska izrađenog injekcijskim prešanjem.

Sustavnim mjerenjem uočeno je da nakon određenog vremena, produljenje vremena djelovanja naknadnog tlaka neće imati utjecaja na povećanje mase proizvoda. Stoga je moguće odrediti optimalno vrijeme djelovanja naknadnog tlaka jednostavnim mjerenjem izmjera otpreska, kao i vizualnim pregledom (izostanak usahlina).

Pretpokusom je ustanovljeno da se postupkom injekcijskog prešanja ispitivanog proizvoda (ispitnog tijela u obliku vesla) masa otpreska mijenja unutar vremena od jedne sekunde, a da u promatranom vremenu masa otpreska povećavanjem naknadnog tlaka i produljenjem vremena držanja naknadnog tlaka raste.

# LITERATURA

1. Čatić, I. : Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb 2006.
2. Šercer, M. : Smjerovi razvoja ubrizgavalica za injekcijsko prešanje plastomera, [www.hrcak.srce.hr](http://www.hrcak.srce.hr) 13.05.2008.
3. Cukor, G. : Postupci prerade polimera,  
[http://www.riteh.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_pro\\_stroj/djelatnici/gcukor\\_predavanja/Proizvodne\\_tehnologije/6\\_Postupci\\_PP.pdf](http://www.riteh.hr/zav_katd_sluz/zvd_pro_stroj/djelatnici/gcukor_predavanja/Proizvodne_tehnologije/6_Postupci_PP.pdf). 15.05.2008.
4. Čatić, I. : Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1990.
5. Husnjak, M. : Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2005.
6. Labaš, I. : Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2007.
7. Godec, D. : Doktorski rad, FSB, Zagreb, 2005.
8. Šercer, M. : Proizvodnja gumenih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 1999.
9. Čatić, I. , Rogić, A. : Injekcijsko prešanje polimera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1996.
10. Miljavac, D. : Elementi kalupa, Konstrukcija i proizvodnja kalupa za preradu plastičnih masa – 1. dio, Stručna komisija inženjera i tehničara plastičara SSITH, Zagreb, 1969.
11. Čatić, I. : Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
12. Petrović, B. : Kalupi za injekciono presovanje plastomera (termoplasta), Naučna Knjiga, Beograd, 1987.
13. Amazing Recycled Products,  
[www.corpmaint.com/AMAZING/searchresult.asp](http://www.corpmaint.com/AMAZING/searchresult.asp) , 17.05.2008.

14. Laboratory Equipment and Material, Biomedical Research  
[www.crbio lab.com/quotation.htm](http://www.crbio lab.com/quotation.htm) , 17.05.2008.
15. ENGEL: Tehnički podatci ubrizgavalice Victory Power
16. ISO 527: 1993. Plastic – Determination of tensile properties.
17. Rujnić – Sokele, M. : Polimeri, 28(2007), 225 – 233.